ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ
PROCESSES AND MACHINES OF AGRO - ENGINEERING SYSTEMS



УДК 639.331.3:639.3.06 DOI 10.12737/12601

Факторы конструктивной оптимизации процессов в аппаратах вихревого слоя*

Н. А. Гиль[1], В. П. Жаров[2], Е. А. Смехунов[3]**
[1, 2, 3] Донской государственный технический университет, г. Ростов на Дону, Российская Федерация

Factors of constructive process optimization in velocity-layer devices***

N. A. Gil[1], V. P. Zharov[2], E. A. Smekhunov[3]**
[1, 2, 3] Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Целью работы является обоснование принципиальных параметрических решений, позволяющих создать оборудование для обогащения воды кислородом в замкнутых системах водоснабжения. При этом предполагается достигать эффекта обеззараживания, исключая добавление кислорода в воду из специальных емкостей. Объектом исследования выбраны аппараты вихревого слоя (АВС), обладающие рядом преимуществ. В известных разработках этих аппаратов по ряду принципиальных решений есть вопросы, не определена действенность факторов, влияющих на процесс обогащения воды кислородом. В качестве методов исследования использованы логический анализ существующих сведений по процессам, происходящим в АВС; аналитические методы решения задач; отсеивающие исследования по влиянию отдельных факторов с использованием известного контрольного оборудования; статистическая обработка данных. В результате выполненной работы определены наиболее значимые факторы, действующие в аппаратах вихревого слоя. Поисковые и отсеивающие эксперименты показали, что наибольшее влияние на процессы обогащения воды кислородом и обеззараживания воды для аквакультуры оказывают кавитация и наличие в камере обработки свободного воздуха. Кроме того, для снижения энергетических потерь зазоры между магнитопроводами должны быть максимально уменьшены. Результаты проведенных экспериментов позволили предложить конструкцию, обеспечивающую преобладание указанных факторов при обработке сточной воды для аквакультуры.

Ключевые слова: аквакультура, аппарат вихревого слоя, обогащение воды кислородом, вращающееся магнитное поле, ферромагнитные стержни, кавитация.

The work objective is to study the fundamental parametric solutions to create the equipment for the oxygen enrichment of water in the closed water systems in recycling. It is assumed to achieve the effect of disinfection excluding the addition of oxygen into water from special containers. For a variety of advantages, velocity-layer devices (VLD) are chosen as a target of research. In the known development of these devices there are some questions on the fundamental solutions; besides, the effectiveness of factors for the oxygen enrichment of water is not determined. The logical analysis of the existing data on the processes taking place in the VLD, analytical methods of problem-solution, screening studies on the impact of some factors by applying a known control equipment, and statistical data processing, are used as research techniques. As a result of the work performed, the most significant factors operating in the velocity-layer devices are identified. The searching and screening experiments have shown that the cavitation and occurrence of free air in the treatment chamber have the greatest impact on the oxygen enrichment of water and the water disinfection for aquaculture. Besides, to reduce energy losses, the gaps between the magnetic conductors should be reduced as much as possible. The results of these experiments allow offering the design that provides the prevalence of the mentioned factors in the treatment of the wastewater for aquaculture.

Keywords: aquaculture, velocity-layer device, oxygen enrichment of water, the rotating magnetic field, ferromagnetic rods, cavitation.

Введение. Мировое производство искусственно выращиваемой рыбы (аквакультура) увеличивается ежегодно почти на 6 %. Для сравнения можно привести соответствующие данные, например, по домашней птице — 4 % и по свинине

* Работа выполнена в рамках инициативной НИР.
** E-mail: gilka_77@mail.ru, spu-42.4@donstu.ru, smehunov@mail.ru
*** The research is done within the frame of the independent R&D.

— 1,7 %. В 2014 году мировое производство рыбы составило 158 млн т. Почти половина этого количества — 66 млн т выращивается в искусственных условиях. Аквакультура развивается и в России, и во всем мире [1]. В 2014 году в рыбоводческих хозяйствах нашей страны выращено 3,68 млн т рыбы.

Обеспечение в бассейне постоянной температуры, состава воды и содержания в ней кислорода позволяет достичь наилучших показателей по скорости выращивания, экономному расходу воды, кормов, экологичности. Если выращивание одного килограмма рыбы в естественных условиях требует 650 л воды, то в бассейне — только 9 л [2]. Однако выращивание рыбы в бассейнах с поддержанием определенной бактериальной среды затрудняется рядом факторов, в частности требует существенных затрат. В России не производится оборудование, позволяющее обеззараживать и обогащать кислородом воду для аквакультуры. Отечественное рыбоводство зависит от поставок импортной техники — дорогостоящей и не всегда высокоэффективной. Это тормозит развитие производства рыбы в искусственных условиях.

Данная работа посвящена вопросам создания оборудования для обогащения воды кислородом в замкнутых системах водоснабжения. При этом в качестве обязательного свойства такого оборудования рассматривается наличие эффекта обеззараживания без необходимости добавления кислорода в воду из специальных емкостей.

Используемое в аквакультуре оборудование для обеззараживания и обогащения кислородом воды должно соответствовать определенным требованиям:
— относительная простота конструкции;
— возможность производства оборудования в России из отечественных комплектующих;
— уровень производительности, достаточный для обслуживания существующих и перспективных рыбоводческих хозяйств;
— сочетание обогащения кислородом с такими полезными эффектами, как обеззараживание, фильтрация;
— исключение вредных эффектов: повышение содержания в воде азота, железа, хлора и т. п.;
— приемлемая энергоемкость процессов;
— экономическая эффективность.

Выполнить эти требования, основываясь только на существующих технологиях и оборудовании, невозможно.

До сих пор физическая сущность явлений, происходящих в аппаратах вихревого слоя (АВС), до конца не выяснена [3]:
— не ясна роль отдельных факторов воздействия на воду при обработке;
— не проработано теоретическое обоснование оптимизации процесса обработки воды во вращающемся магнитном поле;
— отсутствует принципиальное конструктивное решение по снижению удельной энергоемкости аппаратов вихревого слоя (другой используемый термин — установка активизации процессов, УАП) за счет уменьшения паразитного выделения тепла;
— АВС (УАП) не рассматривались как оборудование для обогащения воды кислородом.

Постановка задач:
— выявить среди факторов, действующих в УАП, наиболее существенные;
— определить способ регулирования существенных факторов;
— найти конструктивные пути повышения воздействия существенных факторов на процессы обеззараживания и обогащения воды кислородом.

Методы исследования:
— логический анализ имеющихся сведений по процессам, происходящим в УАП;
— аналитические методы решения задач;
— отсеивающие исследования по влиянию отдельных факторов с использованием известного контрольного оборудования;
— статистическая обработка данных.

Содержание кислорода определялось оксиметром, уровень кавитации — кавитометром.

При исследовании принят ряд допущений, которые не оказывают существенного влияния на результат рассмотрения процессов, но позволяют упростить проведение замеров и последующую обработку результатов.

За среднюю скорость движения ферромагнитной частицы принята скорость ее центра тяжести. Небольшое повышение температуры воды (1–3 ^{0}С) при обработке не влияет на растворимость кислорода. При этом переход части металла с ферромагнитных стержней в воду не влияет на ее свойства, процессы обеззараживания и насыщения воды кислородом.

Во внимание принимались эффекты, проявляющиеся в период от нескольких десятков секунд до минуты, что не противоречит требуемому технологией аквакультуры условию поточности обработки воды.

Общие положения. Аппараты вихревого слоя достаточно хорошо исследованы [4, 5], разработаны конструкции с цилиндрическими и аксиальными активными частями (рис. 1), найдены их рациональные параметры, предложены [6, 7] и реализованы различные конструкции.

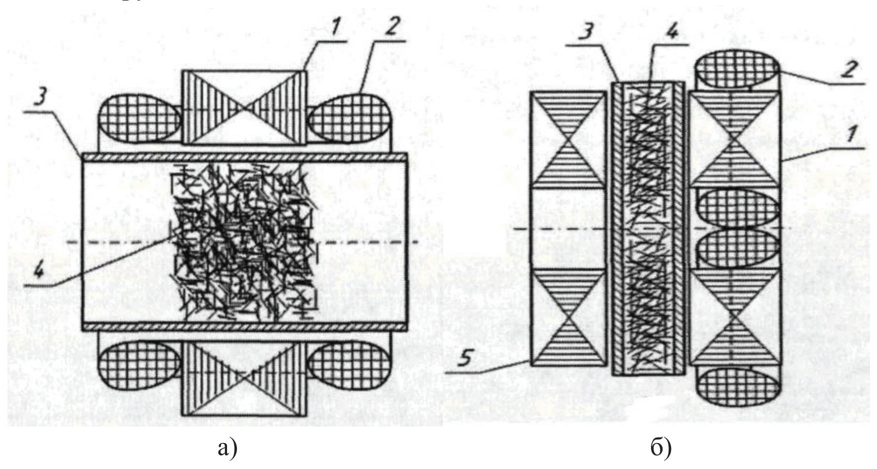


Рис. 1. Аппараты вихревого слоя с радиальными активными частями — цилиндрические аппараты (патенты [8, 9] и др.) (а): с аксиальными активными частями — аксиальные аппараты (патент [10] и др.) (б): 1 — индуктор, 2 — обмотка, 3 — рабочая камера, 4 — ферромагнитные стержни, 5 — аксиальный магнитопровод

В АВС можно установить повышение содержания кислорода при обработке воды, определить причину этого явления и добиться требуемых значений. Что же касается УАП, то их можно использовать в технологических линиях аквакультуры по подготовке возвратной воды.

Если исследовать аппараты вихревого слоя как черный ящик и разрабатывать статистические модели, используя метод планирования эксперимента, то такие модели описывают только конкретные исследуемые установки, и их нельзя использовать для других конструкций. Соответственно, и оптимизировать можно только исследуемую установку. Конструкции этих типов аппаратов еще не установились, нет какой-то общепринятой схемы. Поэтому установки в зависимости от назначения, требований к выполняемому процессу и наличия ресурсов изготавливаются с цилиндрическим или аксиальным расположением обмоток, одной или несколькими зонами воздействия на обрабатываемый материал. В качестве обмотки электромагнитов в УАП чаще используются статоры асинхронных электродвигателей или им подобные, в которых из-за уменьшения сопротивления самоиндукции резко возрастают пусковой и рабочий токи. При отсутствии якоря в УАП выделяется большое количество тепла, и обязательное жидкостное охлаждение увеличивает энергозатраты. В таких условиях параметрическая оптимизация без конструктивной бесперспективна.

Ряд исследований, в том числе наши эксперименты [11, 12], позволили установить следующие факты.

1. Под воздействием электромагнитного поля (в зоне вихревого слоя) УАП ферромагнитные стержни вращаются, совершая возвратно-петлевые движения, перемешиваются и соударяются. Это является причиной ускорения физико-химических реакций и физико-механических процессов и, соответственно, их производных. Вследствие этого наблюдаются эффекты измельчения делимых частиц и обеззараживание.

2. Поток среды движется и разгоняется силой, возникающей в ферромагнитных стержнях при воздействии на них вращающегося магнитного поля. Вращающееся движение среды (воды, газа, жидкого навоза и др.) создается гребным действием ферромагнитных элементов, хаотично вращающихся с переменной угловой скоростью. Удельная энергия вращающегося электромагнитного поля весьма велика и достигает 10 кВт/м [4].

3. Магнитное поле влияет на воду не только непосредственным образом (структурирование водяных кластеров и некоторое силовое воздействия на них), но также вызывает иррегулярное вращательное движения стержней и их столкновения. Отмечаются прямые и скользящие удары, трение (как между стержнями, внешними стенками камеры, так и с обрабатываемым веществом). Поэтому скорости соседних струй потока могут существенно различаться. Следовательно, в микрообластях создаются перепады давления, сопровождаемые кавитацией [13]. Схлопывание кавитационных каверн разрушающе действует на примеси и микрофлору [14], меняет свойства обрабатываемой воды.

4. Обрабатываемая среда (в нашем случае — вода) движется по трубе при определяющем воздействии на нее хаотично вращающихся ферромагнитных стержней. От 1/2 до 1/3 объема трубы занимает воздух. Он увлекается пото-

ком воды, распадается на мелкие пузырьки, смешиваясь с водой. Создаются условия для растворения и повышения концентрации в воде кислорода воздуха.

5. Магнитное поле оказывает определенное влияние на ферромагнитные стержни. Каждый стержень во вращающемся магнитном поле является ярко выраженным магнитом. При их вращении происходит смена полярности на полюсах, т. е. стержни перемагничиваются. При этом возникает явление магнитострикции, что влечет за собой изменение линейных размеров частиц, которое происходит с очень высокой скоростью, порождая дополнительную кавитацию в жидкости.

Во вращающемся магнитном поле движущиеся стержни на короткое время создают замкнутые цепи, которые под воздействием внешнего поля индуцируют токи, нагревающие частицы до значительной температуры. Кроме того, при разрыве цепей появляются электроразряды. Указанные явления способствуют нагреву среды, ее ионизации.

6. Магнитный поток проходит от одного полюса магнита через магнитопровод индуктора, затем через рабочую зону реакционной камеры и замыкается по магнитопроводу на другом полюсе. В рабочей зоне возникает вращающееся электромагнитное поле, увлекающее за собой ферромагнитные частицы. Из-за наличия больших зазоров рабочей зоны сопротивление магнитным силовым линиям возрастает, магнитная индукция значительно ослабевает, а энергия переходит в тепловую. Кроме того, в центре УАП отсутствует массивное ферромагнитное тело по типу якоря в асинхронном двигателе, в котором возникают токи и поле самоиндукции, препятствующие росту тока в обмотках статора. Ток с пониженным магнитным сопротивлением возрастает в 8–10 раз от номинального при обычной работе статора. Таким образом, обмотки перегреваются, возникает необходимость их охлаждения и, следовательно, непродуктивный расход энергии.

7. Для достижения достаточной производительности УАП, например 5–10 $м^3$/ч, скорость движения жидкости должна быть значительной — время обработки измеряется десятками секунд. Из этого следует исходить при изучении влияния отдельных факторов на степень обеззараживания и насыщения кислородом.

8. Содержание кислорода в воде — один из самых значимых факторов обеззараживания. Кислород разрушает оболочки микроорганизмов окислением. Кроме того, содержание кислорода в воде является сопутствующим индикатором при действии других обеззараживающих факторов — в частности, кислород выделяется при электрических разрядах в воде, при механической кавитации и др. Поэтому на первом этапе в опытах контролировалось только изменение количества растворенного кислорода.

Таким образом, гипотетически существенными факторами, влияющими на процесс обеззараживания и обогащения кислородом воды, могут быть:
— магнитное поле;
— электрические разряды;
— ультразвуковые волны, порожденные магнитострикцией стержней;
— механическая кавитация;
— физическое растворение при перемешивании кислорода воздуха, содержащегося в камере обработки;
— диссоциация молекул воды с выделением свободного кислорода.

Кроме перечисленных факторов необходимо учитывать время обработки и температуру. Известно, что растворимость кислорода в воде зависит от температуры. В табл. 1 приведены значения растворимости при давлении 0,101308 МПа.

Таблица 1

Нормальная концентрация кислорода в воде

Температура воды, С	0	10	20	30	40
Растворимость O_2, мг/дм	14,6	11,3	9,1	7,5	6,5

Очевидно, что проводить обработку воды с целью ее обогащения кислородом необходимо при возможно более низких температурах.

Растворение любого вещества в воде занимает время при определенном давлении, концентрации, перемешивании и пр. Соответствующие данные необходимо устанавливать в ходе исследования.

Результаты поисковых и отсеивающих экспериментов. Концентрация кислорода в воде К зависит от многих факторов, и эту зависимость можно представить в виде функции f. Серия однофакторных экспериментов была проведена с целью проверки значимости

$$K = f(I, H, M, l/d, T, Vo_2),$$

где *К*, мг/л — содержание кислорода в воде; *f* — обозначение функции в общем виде; *I,* А — сила тока; *H,* А/м — напряженность магнитного поля; *M*, г — масса ферромагнитных стержней; *l/d*, — отношение длины к диаметру стержней; *T*, мин — время обработки; Vo_2 — количество доступного кислорода из окружающего воздуха.

При установлении возможной зависимости $K = f(I)$ через жидкость пропускался постоянный и переменный ток 220 В. При заметном выделении газа на электродах содержание кислорода за 1 минуту увеличилось на 0,5–1 мг/л, то есть в пределах ошибки измерения (водород не учитывался, так как его растворимость на порядки меньше растворимости кислорода).

Запуск установки без ферромагнитных стержней при наличии вращающегося магнитного поля не обеспечивает вращательное движение воды. В этом случае можно оценить действие одного поля. За контрольное время (1 мин) содержание кислорода в воде осталось на уровне 7,5–7,8 мг/л. Опыт проводился с постоянными магнитами с тем же результатом. При кратковременном воздействии напряженность магнитного поля в достижимых пределах не оказывает определяющего влияния на воду (которая является диамагнетиком), на изменение количества кислорода в воде и, соответственно, на жизнеспособность микроорганизмов.

Влияние соотношения *l/d* на процесс проверялось на нескольких конфигурациях. При $l = d$ ферромагнитные шары диаметрами 2 мм и 3 мм не вращались. Вращение ферромагнитных тел в магнитном поле начинается при значительной разнице *l* и *d*. Так, при $d = 2$ мм использовались стержни 15, 25 и 30 мм ($l/d = 7{,}5$; 12,5 и 15). При этих значениях наблюдалось стабильное вращение стержней. Обработка продолжалась 1 минуту. В табл. 2 показано изменение значений содержания кислорода в водопроводной воде (начальная температура — 18 ^{0}С).

Таблица 2

Влияние отношения дины стержня к диаметру на процесс обогащения воды кислородом в УАП

№	*l/d* при *d* = 2 мм	Содержание кислорода, мг/л	
		Начальное	Конечное
1	7,5	7,8	8,8
2	12,5	7,9	8,4
3	15	7,8	8,6

При стабильном вращении стержней влияние больших значений *l/d* на изменение содержания кислорода неявное. Увеличивать *l* возможно в пределах беспрепятственного движения стержней в обрабатываемом потоке жидкости относительно диаметра трубы.

Суммарная масса стержней *M* должна быть соотнесена с массой обрабатываемой воды в единицу времени. Масса М влияет на время разгона воды до постоянной средней скорости. В случае, если масса воды постоянна и суммарная масса стержней достигает определенного предела (в описываемой установке — 40 г), характер их движения не меняется. При увеличении *M* до 50 и 100 г содержание кислорода увеличивается на постоянную величину, незначительно превышающую пределы статистической ошибки.

Средняя частота вращения стержней под действием электромагнитного поля составляет 700–1000 мин $^{-1}$, что значительно меньше скорости вращения поля (3000 мин $^{-1}$).

Количество кислорода увеличилось максимально (с 2,8 до 7,8 мг/л) при следующих условиях:
— температура — 17 ^{o}С;
— наличие свободного пространства для воздуха;
— заполнение емкости обрабатываемой водой менее чем наполовину;
— свободный доступ воздуха в вертикальном положении камеры с аксиальными активными частями.

Следует отметить, что такой рост количества кислорода наблюдался при увеличении времени обработки до 8 минут и сочетался с кавитационными процессами.

В действующей УАП процессы значительно сложнее — и по комбинированности, и по эффектам (электромеханический износ стержней с выделением в воду компонентов стали, диссоциация воды из-за прохождения по ней тока и др.). Так, ультразвук кроме губительного воздействия на микроорганизмы порождает кавитацию. Кавитация вызывает также некоторую диссоциацию воды с выделением атомарного кислорода. Растворение атомарного кислорода может повышать его общее содержание в воде и одновременно убивать микроорганизмы. Тем не менее, перечисленные выше условия дают представление об основных явлениях в процессе обработки воды вращающимся электромагнитным полем, и проведенный теоретический анализ позволил предварительно ранжировать указанные факторы по степени значимости.

Для определения важности факторов времени и температуры обработки было проведено исследование по методике полного факторного эксперимента Бокса — Уилсона. Матрица планирования эксперимента и натуральные

значения факторов представлены в табл. 3. Функцией отклика является степень обогащения воды кислородом — *Yк*, мг/л, при начальном содержании кислорода *Yн*, мг/л.

Таблица 3

Влияние различных факторов на абсолютное и относительное содержания кислорода в воде

Рандомизированный	10	8	12	11	9	15	4	2	5	14	16	3	6	1	13	7
№ опытов	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Факторы																
Время обработки воды, X_1, сек	60	60	20	20	60	60	20	20	60	60	20	20	60	60	20	20
Масса ферромагнитных стержней X_2, гр	100	50	100	50	100	50	100	50	100	50	100	50	100	50	100	50
Температура воды начальная, X_3, ^{0}C	24	24	24	24	16,3	16,3	16,3	16,3	24	24	24	24	16,3	16,3	16,3	16,3
Выходные параметры																
Температура воды конечная, Y_T, ^{0}C	24	25,5	24,4	23,8	22,7	21,7	20,3	22,2	22,3	25,2	24,2	18,7	22,3	21,6	20,2	22
Степень содержания начального уровня кислорода, *Yн*, мг/л	5,3	5,3	5,3	5,3	7,7	7,7	7,7	7,7	5,3	5,3	5,3	5,3	7,7	7,7	7,7	7,7
Степень обогащения воды кислородом, *Yк*, мг/л	8,5	8,35	7,8	8,8	8	9,15	8,9	9,17	8,4	7,9	8,3	9,9	8,1	9,2	8,8	9,1

Факторами, изменяемыми в ходе эксперимента, были X_1 — время обработки, X_2 — масса ферромагнитных стержней, X_3 — начальная температура воды.

Для проведения каждого опыта использовалась заготовленная вода. Объем воды, ее состав, вязкость, плотность, кислотность не изменялись, так как на практике для рыбных бассейнов также берется вода из одного источника.

Пределы изменения факторов были взяты достаточно широкие и в то же время реальные, чтобы при изменении в выбранных границах максимум Y наверняка оказался внутри поверхности отклика.

Данные экспериментов обработаны по общепринятой методике. По результатам экспериментов построено уравнение регрессии процесса:

$$Y = Yк - Yн = 8{,}46 - 0{,}2X_1 - 0{,}298X_2 - 0{,}154X_3 + 0{,}098X_1X_2 + 0{,}008X_1X_2 + 0{,}054X_2X_3 + 0{,}308X_1X_2X_3.$$

Знаки «минус» перед коэффициентами факторов показывают, что для получения большей насыщенности не надо форсировать режимы обработки, чрезмерно увеличивать время воздействия, содержание ферромагнитных элементов и повышать температуру. Таким образом, анализ уравнения свидетельствует о возможности экономичной обработки воды.

Обращает на себя внимание значимость коэффициента при тройном взаимодействии факторов — $0{,}308X_1X_2X_3$. Это наводит на мысль о кумулятивном эффекте сочетания факторов. Совместное сочетание времени воздействия, массы ферромагнитных активирующих элементов и температуры дает более значимый эффект, чем отдельные факторы. Следовательно, если в УАП одновременно проявляется действие нескольких факторов, то уровень каждого отдельного воздействия может быть снижен, и, значит, обработка может проводиться в более экономичных режимах.

По результатам эксперимента видно, что холодная вода нагревается больше (в среднем на 5,3 ^{0}C), чем теплая (в среднем на 0,8 ^{0}C). Это означает, что при насыщении воды кислородом в зимний период она, изменяя температуру до Y_T, будет подогреваться. Летом же этот эффект будет практически незаметным.

Проведенные исследования позволили обоснованно и целенаправленно провести конструктивную оптимизацию устройства типа УАП, обеспечивающую требуемые параметры и режимы. В настоящее время оформляется патент на разработанное устройство.

Заключение. При функционировании УАП в процессе обогащения воды кислородом необходимо:

— обеспечить время воздействия в пределах 1 минуты;

— избегать подогрева воды в процессе обработки;

— создать условия для поступления в камеру обработки воздуха;

— усилить кавитационные процессы.

В предложенной установке определяющими факторами являются интенсивность кавитации и использование кислорода воздуха.

Библиографический список

1. Стратегия развития аквакультуры в Российской Федерации на период до 2020 года [Электронный ресурс] / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. — Режим доступа: http://www.mcx.ru/documents/document/show/12208.77.htm (дата обращения 21.07.15).

2. Проскуренко, И. В. Замкнутые рыбоводные установки / И. В. Проскуренко. — Москва : Издательство ВНИРО, 2003. — 152 с.

3. Вершинин, Н. П. Установки активации процессов / Н. П. Вершинин. — Ростов-на-Дону : Инноватор, 2004. — 96 с.

4. Логвиненко, Д. Д. Интенсификация технологических процессов в аппаратах с вихревым слоем / Д. Д. Логвиненко, О. П. Шеляков. — Киев : Техника, 1970. — 144 с.

5. Адошев, А. И. Выбор конструкции индуктора ферровихревого аппарата / А. И. Адошев // Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве : сб. науч. тр. — Ставрополь : Издательство Ставропольского государственного университета, 2009. — С. 72–77.

6. Water activation system with functions of disinfection and purification : patent KR, 20020097090 (A); 2002-12-31 / J.-H. Park.

7. Cavitation oxygenation disinfection running water apparatus of waterpower : patent CN, 201161946 (Y) ; 2008-12-10 / S. Xuan, W. Ppeizhi.

8. Аппарат вихревого слоя : патент 2072256 Рос. Федерация : B01F13/08 / Н. П. Вершинин [и др.] ; заявл. 15.10.1992 ; опубл. 27.01.1997.

9. Аппарат вихревого слоя : патент 2072257 Рос. Федерация : B01F13/08 / Н. П. Вершинин, И. Н. Вершинин ; заявл. 16.10.1992 ; опубл. 27.01.1997.

10. Ферровихревой аппарат : патент 2323040 Рос. Федерация : B01F13/08 / А. И. Адошев, В. В. Коваленко ; заявл. 25.12.2006 ; опубл. 27.04.2008.

11. Гиль, Н. А. Перспективы применения установки активизации процессов для подготовки воды для аквакультуры / Н. А. Гиль, Е. А. Смехунов, М. В. Коваленко // Технические средства аквакультуры : сб. трудов междунар. науч. конф. — Ростов-на-Дону : Издательство ДГТУ, 2014. — С. 142–143.

12. Гиль, Н. А. Обработка воды в установках замкнутого цикла / Н. А. Гиль, Е. А. Смехунов // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения : мат-лы 16-й междунар. науч.-практ. конф. — Ростов-на-Дону, 2013. — С. 47–50.

13. Christopher, E.-B. Cavitation and Buble Dynamics / E.-B. Christopher. — New York : Oxford University Press, 1995. — 284 p.

14. Акопян, Б. В. Основы взаимодействия ультразвука с биологическими объектами. Ультразвук в медицине, ветеринарии и экспериментальной биологии / Б. В. Акопян, Ю. А. Ершов. — Москва : Издательство МГТУ им. Баумана, 2005. — 224 с.

References

1. Strategiya razvitiya akvakul'tury v Rossiyskoy Federatsii na period do 2020 goda. [Strategy of aquaculture development in the Russian Federation for the period until 2020.] Ministry of Agriculture of the Russian Federation. Available at: http://www.mcx.ru/documents/document/show/12208.77.htm (accessed: 21.07.15) (in Russian).

2. Proskurenko, I.V. Zamknutye rybovodnye ustanovki. [Closed fish-breeding units.] Moscow: Izdatel'stvo VNIRO, 2003, 152 p. (in Russian).

3. Vershinin, N.P. Ustanovki aktivatsii protsessov. [Process activation installations.] Rostov-on-Don: Innovator, 2004, 96 p. (in Russian).

4. Logvinenko, D.D., Shelyakov, O.P. Intensifikatsiya tekhnologicheskikh protsessov v apparatakh s vikhrevym sloem. [Intensification of technological processes in the velocity-layer devices.] Kiev: Tekhnika, 1970, 144 p. (in Russian).

5. Adoshev, A.I. Vybor konstruktsii induktora ferrovikhrevogo apparata. [Selection of inductor design for ferro-vortex device.] Metody i tekhnicheskie sredstva povysheniya effektivnosti ispol'zovaniya elektrooborudovaniya v promyshlennosti i sel'skom khozyaystve : sb. nauch. tr. [Methods and techniques to enhance the applicability of electrical equipment in industry and agriculture: Coll.of sci.papers.] Stavropol: Izdatel'stvo Stavropol'skogo gosudarstvennogo universiteta, 2009, pp. 72–77 (in Russian).

6. Park, J.-H. Water activation system with functions of disinfection and purification: Patent KR, no. 20020097090 (A), 2002.

7. Xuan, S., Peizhi, W. Cavitation oxygenation disinfection running water apparatus of waterpower: Patent CN, no. 201161946 (Y), 2008.

8. Vershinin, N.P., et al. Apparat vikhrevogo sloya: patent 2072256 Ros. Federatsiya: B01F13/08. [The vortex-layer device.] Patent RF, no. 2072256, 1997 (in Russian).

9. Vershinin, N.P., Vershinin, I.N. Apparat vikhrevogo sloya: patent 2072257 Ros. Federatsiya: B01F13/08. [The vortex-layer device.] Patent RF, no. 2072257, 1997 (in Russian).

10. Adoshev, A.I., Kovalenko, V.V. Ferrovikhrevoy apparat: patent 2323040 Ros. Federatsiya: B01F13/08. [The ferro-vortex device.] Patent RF, no. 2323040, 2008 (in Russian).

11. Gil, N.A., Smekhunov, E.A., Kovalenko, M.V. Perspektivy primeneniya ustanovki aktivizatsii protsessov dlya podgotovki vody dlya akvakul'tury [Application prospects of the revitalization process installation for water treatment for aquaculture.] Tekhnicheskie sredstva akvakul'tury: sb. trudov mezhdunar. nauch. konf. [Technical equipment for aquaculture: Proc. Int.Sci. Conf.] Rostov-on-Don, DSTU Publ. Centre, 2014, pp. 142–143 (in Russian).

12. Gil, N.A., Smekhunov, E.A. Obrabotka vody v ustanovkakh zamknutogo tsikla. [Water treatment at closed-cycle plants.] Sostoyanie i perspektivy razvitiya sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya : mat-ly 16-y mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [State and prospects of development of agricultural engineering : Proc. XVI Int. Sci.-Prac. Conf.] Rostov-on-Don, 2013, pp. 47–50 (in Russian).

13. Christopher, E.-B. Cavitation and Buble Dynamics. New York: Oxford University Press, 1995, 284 p.

14. Akopyan, B.V., Yershov, Y.A. Osnovy vzaimodeystviya ul'trazvuka s biologicheskimi ob"ektami. Ul'trazvuk v meditsine, veterinarii i eksperimental'noy biologii. [Fundamentals of the ultrasound – biological objects interaction. Ultrasound in medicine, veterinary medicine, and experimental biology.] Moscow: Izdatel'stvo MGTU im. Baumana, 2005, 224 p. (in Russian)

Поступила в редакцию 11.05.2015
Сдана в редакцию 15.05.2015
Запланирована в номер 30.06.2015